

# Inversor fotovoltaico de fases reconfiguráveis

Charles Schardong, Gabriel A. Saccol, Leandro Michels,  
Lucas V. Bellinaso, Cassiano Rech  
Grupo de Eletrônica de Potência e Controle - GEPOC  
Universidade Federal de Santa Maria - UFSM  
Santa Maria, Brasil  
schardong.charles@gmail.com

Martin Breus Meier, Walter Meneghette dos Santos  
Ecosolys  
Curitiba, Brasil  
martinbra@gmail.com, wmeneghette@gmail.com

**Resumo**—No Brasil, o sistema de distribuição em baixa tensão apresenta diversos níveis de tensão e modos de conexão diferentes, que variam de acordo com a região e a distribuidora de energia elétrica. Com base nisso, o artigo apresenta o desenvolvimento de um inversor de estrutura reconfigurável. O inversor possui um algoritmo de detecção de configuração, que possibilita identificar qual tipo de rede está conectada, permitindo que suas estratégias de controle sejam selecionadas de acordo com a rede disponível. Assim, o inversor pode operar na diversidade de níveis de tensão e configuração de fases existentes no Brasil. Resultados experimentais do firmware em Hardware-In-the-Loop (HIL) são mostrados para diferentes configurações de rede.

**Palavras-chave** – Rede brasileira, algoritmo de detecção de configuração, inversor fotovoltaico, inversor reconfigurável, inversor de fases reconfiguráveis.

## I. INTRODUÇÃO

Com a necessidade da redução da emissão dos gases do efeito estufa, os países têm adotado políticas públicas visando promover o crescimento da geração de energia renovável [1]. Em 2019, a potência instalada de energia fotovoltaica e eólica juntas, representavam 1226 GW de potência global, e a previsão é que esse valor chegue na marca de 2349 GW até 2025 [2].

Desde 2012, a geração fotovoltaica vem crescendo no Brasil, em 2019 uma pesquisa realizada revelou que 89% da população brasileira tem interesse em gerar sua própria energia. A estimativa de crescimento para 2019 era de 44% [3], no entanto o crescimento chegou a marca de 212% no ano de 2019 [4]. Sendo assim, podemos esperar um aumento expressivo nos próximos anos.

Por se tratar de um local de área muito grande, o Brasil possui diversos padrões de conexão e diversas empresas distribuidoras de energia elétrica. Logo, surgem dificuldades técnicas ocasionadas por essa diversidade, muitas vezes impossibilitando o uso de alguns equipamentos. No caso dos sistemas fotovoltaicos, é a diversidade de níveis de tensão e configurações de rede elétrica disponíveis.

De acordo com a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), o Sistema de Distribuição de Baixa Tensão (SBDT) brasileiro possui níveis de tensão padronizados de acordo com a Tabela I, porém podem ser admitidas tensões diferentes dependendo da região [5].

Tabela I  
TENSÕES NOMINAIS PARA REDE DE BAIXA TENSÃO [5].

Sistema	Tensão Nominal (V)
Trifásico	220/127
	380/220
Monofásico	254/127
	440/220

A ANEEL disponibiliza dados de níveis de tensão em seu site, esses níveis são fornecidos pela concessionária local e são listados por cidade, fazendo uma breve busca, considerando cidades diferentes:

- Atibaia - SP - 220V/127V, 254V/127V e 380V/220V;
- Embu - SP - 230V/115V, 220V/127V e 208V/120V;
- Guarulhos - SP - 380V/220, 254V/127V e 240V/120V.

Com os dados dessas três cidades, podemos notar que ao menos duas possuem valores diferentes do padrão informado pela ANEEL, sendo que os valores à direita da barra representam a medição de tensão de fase ao neutro, já os da esquerda representam medição de fase a fase [6]. Nas situações em que as tensões de fase a fase representam o dobro da tensão de fase a neutro, a defasagem angular das fases é de 180°. No restante das configurações, a defasagem é de 120°. Essas últimas situações ocorrem pois em alguns locais são utilizados transformadores, com secundários ligados em delta e aterrados [7].

Dessa forma, a modularidade e a capacidade de reconfiguração são características que devem ser adotadas para o desenvolvimento de uma topologia que possa ser conectada nos diversos tipos de rede elétrica no Brasil. Alguns trabalhos propõem topologias trifásicas de quatro braços, com a finalidade de recuperar o conversor em caso de falha de operação [8],[9]. Um conversor trifásico de dois braços foi apresentado por Liu, Ge e Gou [10], a fim de diminuir o custo total de configurações trifásicas [10]. Caminhos alternativos para a passagem de corrente durante certas etapas de operação de conversores também são analisados, principalmente em patentes, para o aumento da eficiência das topologias [11],[12]. Por fim, Paakkinen propôs uma topologia com capacidade de operar como meia ponte ou ponte completa, dependendo das necessidades de operação do conversor [13]. Os trabalhos analisados apresentam conversores com grande capacidade de reconfiguração, mas

a conexão desses equipamentos com diferentes configurações de rede elétrica não é analisada profundamente.

Sendo assim este artigo tem como propósito, o desenvolvimento de um conversor fotovoltaico que possa ser conectado na maioria das redes disponíveis no Brasil. O conversor consiste em um sistema modular, onde cada módulo é responsável pelo processamento de energia de uma fase, com possibilidade de conexão de até 3 módulos, de maneira que possibilite a operação de um sistema monofásico, monofásico de braços paralelos, bifásico com neutro, bifásico sem neutro e trifásico.

O artigo foi organizado da seguinte forma: Seção II apresenta a estrutura de controle como um todo, apresentando a rotina de seleção das estratégias de controle desejadas. Também apresenta o sistema de detecção de configuração. Na seção III é apresentado o sistema de controle, mostrando quais estratégias de controle são utilizadas de acordo com cada configuração selecionada. A seção IV apresenta os resultados obtidos, com simulação do código C no DSP em Hardware-In-The-Loop (HIL).

## II. DESCRIÇÃO DA ESTRUTURA

### A. Diagrama elétrico do inversor

Na Fig. 1 está representado o diagrama elétrico geral do inversor, sendo que os componentes presentes na primeira camada (Braço, sensores de tensão e corrente, Capacitores  $C_1$  e  $C_2$ , filtro  $L_a$  e  $C_a$  e relé) compõem um módulo do conversor, sendo possível utilizar até três módulos. As medições de tensão nomeadas como  $v_{ra}$ ,  $v_{rb}$  e  $v_{rc}$ , representam as tensões da rede elétrica para cada fase, as quais são utilizadas no processo de detecção de configuração. Entre a rede e o filtro LC, existem 4 relés que permitem o fluxo de corrente para fases A, B e C e também para o neutro. Esses relés são comandados de forma independente pelo microcontrolador, que apenas fecha os relés necessários para cada configuração.

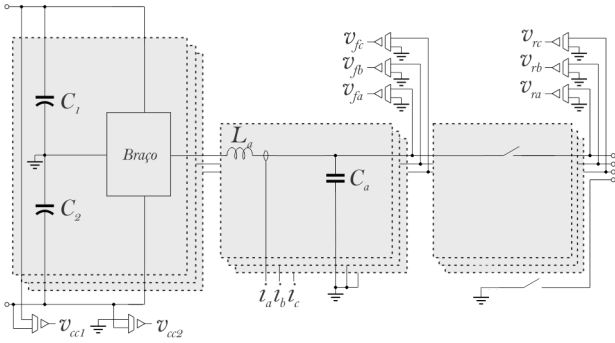


Figura 1. Diagrama geral do circuito

No momento que o inversor identificou a rede, os relés são fechados, para que as estruturas de controle sejam selecionadas. Após a seleção das estruturas, o inversor realiza o sincronismo com a rede elétrica e entra em operação normal.

### B. Estrutura de controle

A estrutura geral do conversor está representada na Fig. 2, com essa estrutura o inversor pode operar nos modos

monofásico 127V, monofásico 127V braços paralelos, bifásico sem neutro ou monofásico 220V, bifásico com neutro 127V e trifásico com neutro 127V. As variáveis  $x_{\alpha 2}$  somente são utilizadas na configuração de braços paralelos, representando que o segundo braço do conversor possui a mesma fase que o primeiro, porém o controle é feito de forma independente nos dois braços.

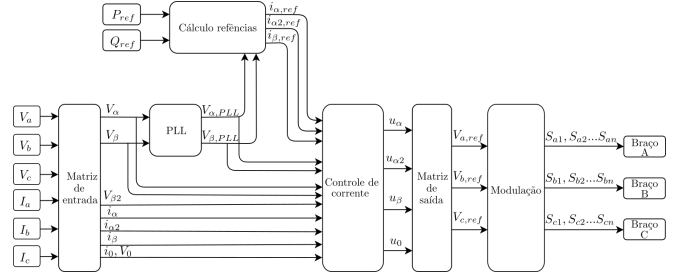


Figura 2. Estrutura geral de funcionamento

A estrutura reconfigurável do conversor é baseada em um conjunto de ponteiros que de acordo com a configuração detectada selecionam as estruturas de controle necessárias para o funcionamento em cada modo de operação do conversor. Ao todo são 5 ponteiros responsáveis pelo funcionamento do sistema de controle completo, suas funções são:

- Matriz de entrada;
- PLL;
- Controle de Corrente;
- Matriz de saída;
- Modulação.

O ponteiro de matriz de entrada, realiza a interface entre as variáveis medidas e as malhas de controle de acordo com a configuração de rede selecionada.

Para o sincronismo existem duas possibilidades, caso a configuração seja monofásica o ponteiro é apontado para uma função de PLL de  $\alpha$ , caso seja polifásico é apontado para uma PLL de  $\alpha\beta$ .

A seleção do ponteiro de controle de corrente consiste apenas na quantidade de controladores. Na configuração foi definido que o número de controladores de corrente necessários é igual ao número de fios da configuração menos 1. Por exemplo, a configuração bifásica com neutro possui três fios, logo são necessários dois controladores de corrente.

A matriz de saída realiza a interface entre as saídas dos controladores com as funções de modulação.

O ponteiro de modulação altera entre uma função com cálculo da razão cíclica para configurações que possuem conexão ao ponto neutro. Já para as configurações sem conexão ao ponto neutro, utiliza-se uma modulação baseada em portadoras com uma abordagem geométrica.

### C. Algoritmo de detecção de configuração de rede

O algoritmo de identificação de configuração foi elaborado considerando os seguintes pré-requisitos, de acordo com a Fig. 3:

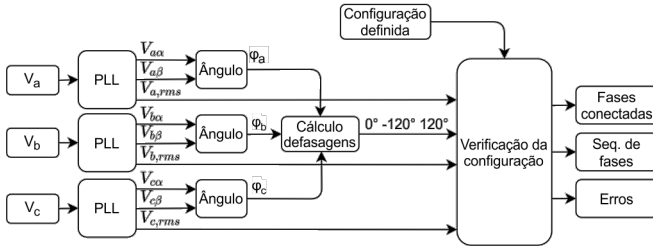


Figura 3. Diagrama do sistema de detecção de configuração

- Pré-seleção da configuração desejada pelo instalador através da IHM;
- Toda vez que a rede está disponível o inversor deve realizar a identificação da configuração, caso a configuração detectada seja igual a configuração configurada, a conexão com a rede é permitida;
- Necessidade de identificação de fases conectadas, sequência de fases e defasagem angular entre fases, para configurar as medições, controladores e modulações.

O processo de detecção é realizado em 6 etapas:

- Etapa 1 - PLL: Cada uma das três medições de tensão da rede passam simultaneamente por uma PLL, o algoritmo permanece nessa etapa por aproximadamente 100 milissegundos para que as PLLs se estabilizem. Essas PLLs fornecem dois valores, componente direta e de quadratura, que será usado nas próximas etapas;
- Etapa 2 - valor RMS: Nesta etapa é realizado o cálculo do valor eficaz de tensão de cada fase;
- Etapa 3 - Detecção das fases com tensão dentro da faixa ideal: Com as tensões obtidas na etapa anterior, são realizadas as comparações com os limites mínimos e máximos de tensão (0,8 a 1,1 p.u. [14]). O vetor fases, de 4 posições, armazena as informações de fases conectadas.
- Etapa 4 - Cálculo do ângulo das fases: Nessa etapa é calculado o ângulo de cada fase através do arco tangente das componentes obtidas pelas PLLs;
- Etapa 5 - Verificação de erro de número de fases: A verificação é realizada comparando os dados da pré-seleção de configuração com o vetor fases, se a quantidade de fases configurada for diferente da quantidade detectada, é armazenado um erro na variável erro fases;
- Etapa 6 - Verificação de erro de ângulo das fases e sequência de fases: Para identificar erro de ângulo entre as fases conectadas é realizada a comparação da pré-seleção de configuração com o ângulo calculado, verificando se o mesmo é próximo de 0°, 120° ou -120°.

Todos os dados obtidos durante essas seis etapas, são armazenados em uma *struct* como representado na Fig. 4, essas informações são suficientes para que o conversor realize a configuração automática dos ponteiros de configuração, permitindo assim o funcionamento adequado em qualquer configuração de rede.

Na *struct* configuração, o vetor fases tem tamanho 4 e

configuracao		configuracao_struct	{...}
fases		_Bool [4]	0x20000060 <configuracao>
<input type="checkbox"/>	(*) fases[0]	_Bool	false
<input type="checkbox"/>	(*) fases[1]	_Bool	false
<input type="checkbox"/>	(*) fases[2]	_Bool	false
<input type="checkbox"/>	(*) fases[3]	_Bool	false
<input type="checkbox"/>	(*) config	int	10
<input type="checkbox"/>	(*) Vnom	float	127
<input type="checkbox"/>	(*) Vmax	float	0
<input type="checkbox"/>	(*) seq_fase	int	0
<input type="checkbox"/>	(*) numero_fases	int	0
<input type="checkbox"/>	(*) error_fases	_Bool	false
<input type="checkbox"/>	(*) error_angulos	_Bool	false
<input type="checkbox"/>	(*) status_configuracao	_Bool	false

Figura 4. Struct com valores iniciais

representa Neutro, Fase A, Fase B e Fase C para as posições 0, 1, 2 e 3 do vetor, sendo que *false* seria fase ausente e *true* fase presente. Nessa *struct* também é armazenado a sequência de fase quando necessário, sendo -1 sequência negativa, 1 sequência positiva e 0 sem sequência, erros de fases e ângulos, caso existam.

### III. SISTEMA DE CONTROLE

A malha de controle de corrente representada na Fig. 5, é responsável pelo controle de corrente de apenas um braço. Quando a função de identificação de configuração detecta a configuração conectada ao conversor, que pode ser por exemplo uma configuração monofásica conectada ao braço B do conversor, dessa maneira a matriz de entrada direciona as medições do braço B para esse controlador e a variável  $I_{x,ref}$  passa a ser  $I_{b,ref}$ , ao mesmo tempo que a matriz de saída direciona a razão cíclica dessa malha para a função de PWM, logo a saída  $d_x$  passa a ser  $d_{bn}$ .

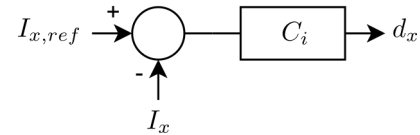


Figura 5. Malha de controle de corrente de cada braço

A corrente de referência é obtida através da potência ativa e reativa, caso tenha mais de um controlador de corrente selecionado, essa corrente é dividida pela quantidade de controladores.

Para as configurações polifásicas, as tensões da rede e correntes são convertidas em  $\alpha\beta$  ou  $\alpha\beta 0$ , através da equação (1) [15], [16].

$$\begin{pmatrix} x_a \\ x_b \\ x_c \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 1 \\ -\frac{1}{2} & \frac{\sqrt{3}}{2} & 1 \\ -\frac{1}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_\alpha \\ x_\beta \\ x_0 \end{pmatrix} \quad (1)$$

Desse modo, caso a configuração selecionada seja bifásica com neutro, duas malhas de controle são selecionadas, realizando o controle de  $I_\alpha$  e  $I_\beta$ . Caso a configuração selecionada seja trifásica com neutro, três malhas de controle são selecionadas, controlando as correntes  $I_\alpha$ ,  $I_\beta$  e  $I_0$ .

#### IV. RESULTADOS

Para validação dos algoritmos desenvolvidos, optou-se por utilizar um microcontrolador em conjunto com um equipamento de Hardware-In-The-Loop (HIL), os parâmetros utilizados estão descritos na Tabela II. Através da IHM é possível selecionar a configuração desejada e o nível de tensão da rede. Feito isso o conversor executa a função de identificação de configuração, verificando se a configuração e os níveis de tensão definidos na pré-configuração estão de acordo com o que o conversor detectou.

Tabela II  
PARÂMETROS ADOTADOS NOS TESTES.

Tensão CC	600 V
Potência	5kW/Braço
Tensão CA	220 V/127 V, 120 V
Frequência	60 Hz
Frequência de comutação	21600 Hz
Simulação	DSP + Hardware-In-The-Loop (HIL)

Ao fim da execução da função de identificação de configuração, não existindo erros, a função de configuração dos ponteiros é chamada, e os ponteiros são direcionados para as funções que são compatíveis com a configuração detectada.

Para o primeiro teste o inversor foi configurado considerando uma rede monofásica com tensão nominal de 127V, com uma potência de referência máxima de 5 kW.

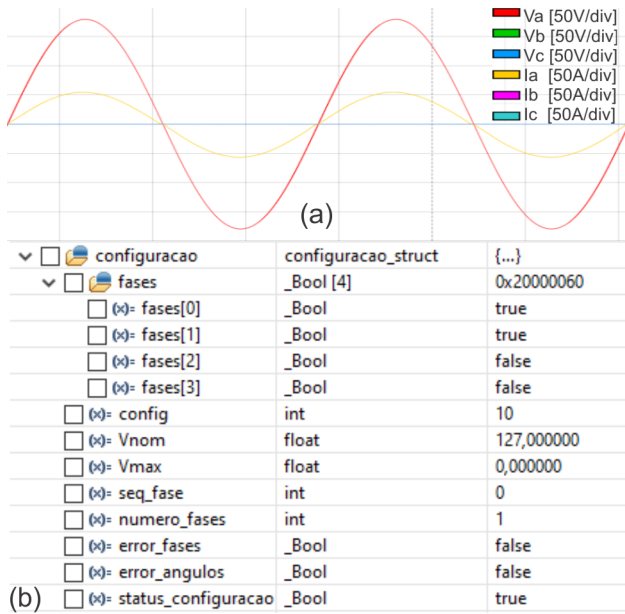


Figura 6. Configuração Monofásica 127V

Na Fig. 6 (b) pode ser visto a *struct* configuração com os resultados obtidos durante a detecção de configuração, onde o vetor *fases* armazenou o valor *true* nas posições 0 e 1, ou seja, foi identificado que o condutor neutro está conectado ao conversor, e a fase está conectada no braço A do conversor. Na Fig. 6 (a) está representado a tensão da rede e a corrente injetada na rede pelo conversor.

No segundo teste, foi considerado a conexão do conversor em uma rede monofásica de 127V, porém diferente da situação anterior, neste caso dois braços do conversor serão usados em paralelo, logo a potência total injetada na rede é 10kW.

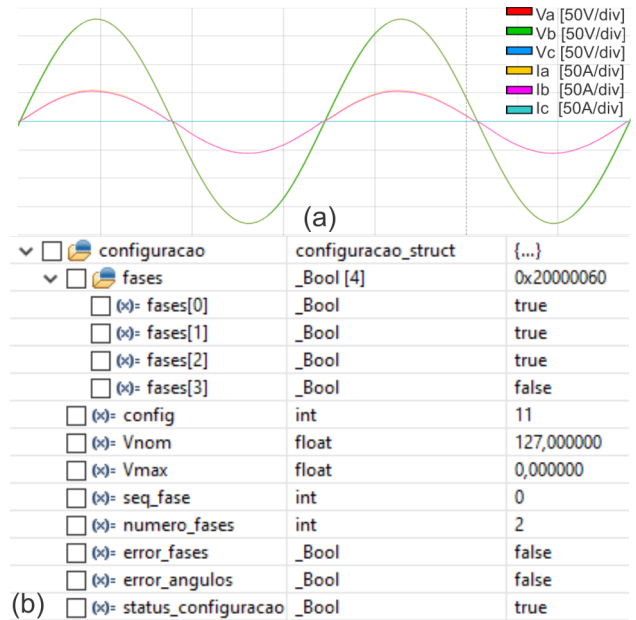


Figura 7. Configuração Monofásica 127V com braços paralelos

Nessa situação, os dados presentes na *struct* configuração da Fig. 7 (b), demonstram que o vetor *fases* apresenta o valor *true* nas posições 0, 1 e 2, o que significa que o condutor neutro está conectado ao conversor e também que os braços A e B possuem uma fase conectada a eles, a variável *seq\_fase* possui um valor 0, definindo que não existe defasagem angular entre os braços A e B. As correntes de saída dos dois braços estão representadas na Fig. 7 (a) sobrepostas, confirmando que os dois módulos estão operando de forma paralela.

Para a conexão do conversor em uma rede trifásica 127V com neutro, será considerado duas situações, uma em que a sequência de fase é positiva e outra negativa, para demonstrar que o inversor consegue distinguir as duas situações.

Na primeira situação as tensões foram configuradas considerando fase A = 127V 0°, fase B = 127V -120° e fase C = 127V 120°. Na configuração da IHM do conversor, foi informado que a configuração é trifásica 127V com neutro, e a potência de referência é 15kW, não sendo necessário informar uma sequência de fase, pois essa informação é obtida durante a detecção de configuração. Na Fig. 8 (b) estão armazenados os dados obtidos durante a detecção de configuração, a variável *seq\_fase* pode conter os valores -1, 0 e 1, onde -1 representa sequência de fase negativa, 0 representa a ausência de defasagem angular e 1 representa sequência de fase positiva. Como esperado a função detectou que a rede conectada ao conversor apresenta sequência de fase positiva. Na Fig. 8 (a) estão representadas as tensões  $V_a$ ,  $V_b$  e  $V_c$  da rede e as correntes  $I_a$ ,  $I_b$  e  $I_c$  injetadas pelo conversor na rede.

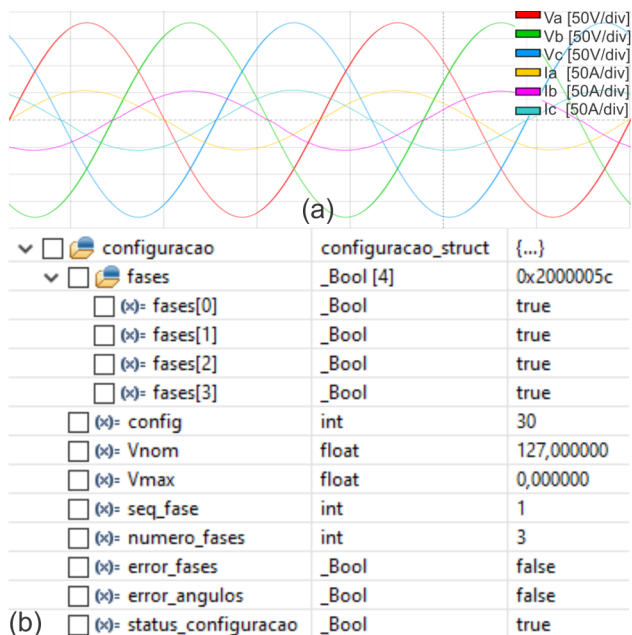


Figura 8. Configuração Trifásica 127V Seq. Positiva

Na segunda situação as tensões foram configuradas considerando fase A = 127V 0°, fase B = 127V 120° e fase C = 127V -120°. A pré-configuração do conversor pode ser mantida a mesma, pois os valores adicionados anteriormente não sofreram alteração. Após rodar a função de detecção de configuração, foi identificado que a rede conectada ao conversor possui uma sequência de fase negativa de acordo com a Fig. 9 (b). As correntes  $I_a$ ,  $I_b$  e  $I_c$  estão em sincronismo com as tensões  $V_a$ ,  $V_b$  e  $V_c$  da rede, conforme a Fig. 9 (a).

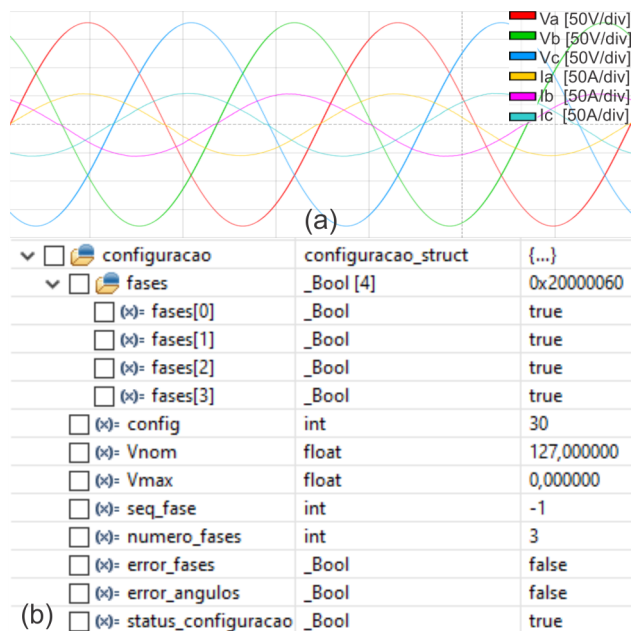


Figura 9. Configuração Trifásica 127V Seq. Negativa

No teste da configuração bifásica vamos considerar duas

situações, a primeira será em uma rede com tensão de fase de 127V e outra com tensão de 120V.

Na primeira situação as tensões foram configuradas considerando fase A = 127V 0° e fase B = 127V -120°, selecionado como configuração bifásico com neutro, e 10kW de potência de referência. Conforme a Fig. 10 (b), o inversor detectou a configuração corretamente. Como pode ser visto na Fig. 10 (a), as correntes estão em sincronismo com suas respectivas fases.

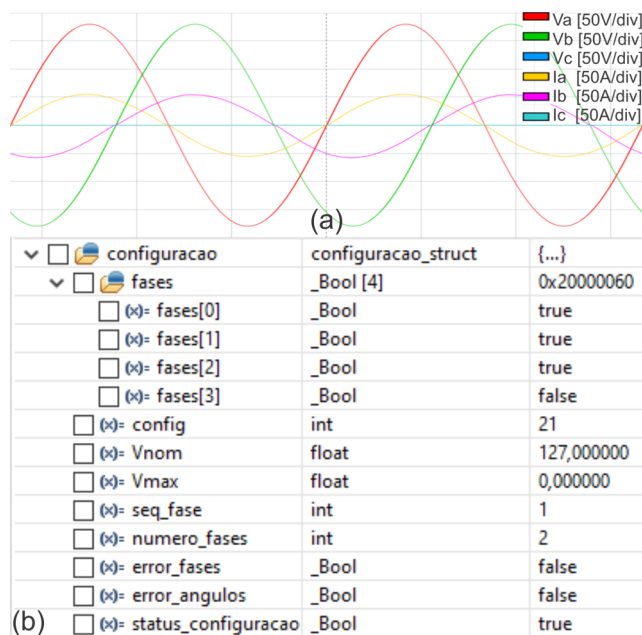


Figura 10. Configuração Bifásica 127V Seq. Positiva

Na Fig. 11 (a) foi definido uma configuração igual ao caso anterior, rede bifásica com neutro, no entanto, ao invés de usar 127V de tensão de fase, foi adotado a tensão de 120V, que resulta em uma tensão de linha de 208V. Conforme a Fig. 11 (b), o inversor detectou a configuração corretamente, e operou normalmente na tensão detectada, logo o conversor pode ser configurado para quaisquer níveis de tensão de fase da rede elétrica que possam variar de 110V até 127V.

Outra situação importante da função de detecção de configuração, é informar ao instalador a existência de erros na ligação elétrica entre a rede e o conversor. Considerando que o instalador deseja configurar o conversor para uma rede monofásica de 127V e braços paralelos, porém na ligação elétrica será considerado que o instalador esqueceu de conectar uma fase no conversor. A Fig. 12 apresenta os dados obtidos durante a detecção de configuração, o vetor fases mostra que apenas o condutor neutro e a fase A estão conectadas, a variável error\_fases apresenta valor true, ou seja, existe um erro de fases, o instalador recebe a informação de que é necessário realizar uma verificação nas conexões elétricas.

Com os erros apresentados, o algoritmo de detecção de configuração não só permite o inversor identificar se é possível configurar a estrutura de controle, mas também proporciona

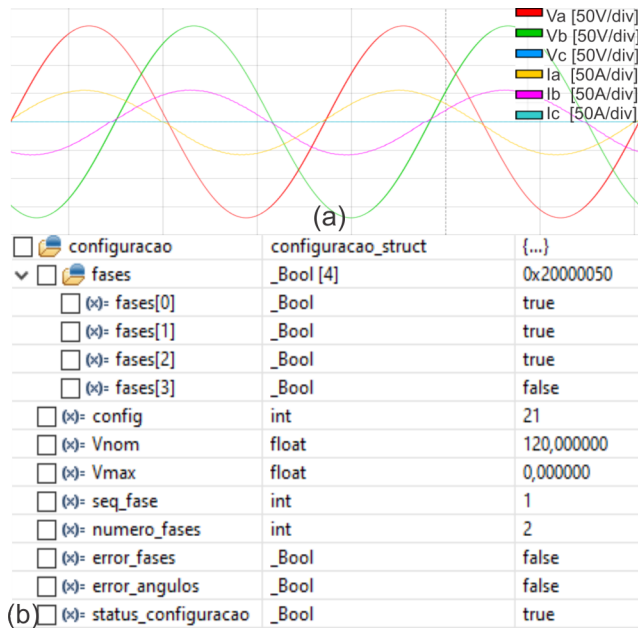


Figura 11. Configuração Bifásica 120V Seq. Positiva

configuracao		
configuracao_struct	{...}	
fases	_Bool [4]	0x20000050
(x) fases[0]	_Bool	true
(x) fases[1]	_Bool	true
(x) fases[2]	_Bool	false
(x) fases[3]	_Bool	false
(x) config	int	11
(x) Vnom	float	127,000000
(x) Vmax	float	0,000000
(x) seq_fase	int	0
(x) numero_fases	int	2
(x) error_fases	_Bool	true
(x) error_angulos	_Bool	false
(x) status_configuracao	_Bool	true

Figura 12. Detecção erro setup

que o instalador identifique erros de conexão elétrica mais facilmente.

## V. CONCLUSÃO

Este artigo apresentou uma diagrama de controle para inversor fotovoltaico com um sistema de detecção de configuração, que possibilita a detecção da configuração de rede e possíveis erros de conexão, permitindo que as funções de controle sejam selecionadas de acordo com a rede elétrica que está conectada ao inversor.

Conforme as simulações realizadas em HIL, o algoritmo de detecção de configuração do inversor conseguiu detectar de forma confiável e assertiva a configuração de rede em cada situação, e com esses dados o algoritmo conseguiu selecionar a estruturas de controle necessárias em cada situação.

Com base nos resultados obtidos, podemos concluir que esse inversor possui um funcionamento universal, tendo em vista que com apenas esse modelo de equipamento, todas as redes

brasileiras são suportadas, além da capacidade modular do mesmo, que permite o cliente expandir sua estrutura a qualquer momento, com a adição de novos módulos.

## AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES/PROEX) – Código de Financiamento 001 e Hi-Mix Eletrônicos S/A.

## REFERÊNCIAS

- [1] T. R. Ricciardi, D. Salles, R. Torquato and W. Freitas, "Sustainable energy and distributed generation scenario in the Brazilian electricity sector," 2012 IEEE Power and Energy Society General Meeting, San Diego, CA, USA, 2012.
- [2] IEA (2020), Renewables 2020, IEA, Paris <https://www.iea.org/reports/renewables-2020>
- [3] Portal solar - Com impulso de geração distribuída, energia solar no Brasil deve crescer 44% em 2019.
- [4] Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica - ABSOLAR, Energia Solar Cresce Forte no Brasil em 2019, 02/03/2020.
- [5] ANEEL. Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional - PRODIST, Módulo 3: Acesso ao Sistema de Distribuição.
- [6] ANEEL. Tensões Nominais Secundárias por município. <https://www.aneel.gov.br/tensoes-nominais>.
- [7] G. A. Saccol, C. Schardong, L. Michels, L. V. Bellinaso and C. Rech, "Reference Grid Impedance for Tests of Grid-connected Power Converters for Distributed Energy Resources: The Brazilian Case," 2019 IEEE 15th Brazilian Power Electronics Conference and 5th IEEE Southern Power Electronics Conference (COBEP/SPEC), Santos, Brazil, 2019
- [8] S. Xu, J. Zhang and J. Hang, "Investigation of a Fault-Tolerant Three-Level T-Type Inverter System," in IEEE Transactions on Industry Applications, vol. 53, no. 5, pp. 4613-4623, Sept.-Oct. 2017.
- [9] R. Katebi, J. He and N. Weise, "Investigation of Fault-Tolerant Capabilities in an Advanced Three-Level Active T-Type Converter," in IEEE Journal of Emerging and Selected Topics in Power Electronics, vol. 7, no. 1, pp. 446-457, March 2019.
- [10] Y. Liu, X. Ge, Q. Tang and B. Gou, "Two modified SVPWM algorithms for common-mode voltage reduction in eight-switch three-phase inverters," in Electronics Letters, vol. 53, no. 10, pp. 676-678, 11 5 2017.
- [11] Frisch, M. and Temesi, E.: 'Inverter Topologies Usable With Reactive Power'. US Patent 2011/0013438 A1, January 2011.
- [12] Wang, Z.: 'HIGH-EFFICIENCY, THREE-LEVEL, SINGLE-PHASE INVERTER'. US 8,867,248 B2, October 2014.
- [13] Paakkinen, M.: '3-level fullbridge NPC inverter assembly for connection to a single phase grid and photovoltaic power plant comprising the same'. EP 2 651 025 A1, October 2013.
- [14] ABNT NBR16149 - Sistemas fotovoltaicos (FV) - Características da interface de conexão com a rede elétrica de distribuição.
- [15] M. Velasco, P. Martí, A. Camacho, J. M. Rey, J. Miret and M. Castilla, "Enabling Grid-Feeding Converters With a Dissonant-Resonant Controller for Negative-Sequence Voltage Elimination," in IEEE Transactions on Power Electronics, vol. 35, no. 4, pp. 4342-4352, April 2020.
- [16] Y. Yin et al., "Observer-Based Sliding Mode Control for Grid-Connected Power Converters under Unbalanced Grid Conditions," in IEEE Transactions on Industrial Electronics